

Requested Patent: JP2003151116A

Title:

MAGNETIC RECORDING MEDIUM AND MAGNETIC RECORDER USING THE
SAME ;

Abstracted Patent: JP2003151116 ;

Publication Date: 2003-05-23 ;

Inventor(s):

IGARASHI KAZUSUKATSU; AKAGI FUMIKO; HIRAYAMA YOSHIYUKI; YAMAMOTO
TOMOO; TOMIYAMA HIROSHI; HOSOE YUZURU ;

Applicant(s): HITACHI LTD ;

Application Number: JP20010344017 20011109 ;

Priority Number(s): JP20010344017 20011109 ;

IPC Classification: G11B5/66; G11B5/64 ;

Equivalents: ;

ABSTRACT:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a magnetic recording medium suitable for high density magnetic recording with high resolution, low noise and small thermal fluctuation, and a mass magnetic storage device realized in using the medium, etc. SOLUTION: In this magnetic recording medium having at least three or more magnetic layers on a non-magnetic substrate, when a magnetic layer which is farthest from the non-magnetic substrate is used as a magnetic layer for recording, a magnetic layer which is father from the non-magnetic substrate next to the layer for recording is used as a magnetic layer for stabilization, and the entire magnetic layers other than the magnetic layer for recording and the magnetic layer for stabilization are used as a group of lower magnetic layers, an AFC type thin film magnetic recording medium has a connection layer made of non-magnetic material or weak magnetic material having nature that makes the magnetization of a contact magnetic layer reverse between the magnetic layer for recording and the magnetic layer for stabilization, and uses a magnetic recording medium, wherein the rearrangement of the magnetic layer for stabilization and the group of lower magnetic layers generally ends within 10 millisecond after recording.

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号
特開2003-151116
(P2003-151116A)

(43)公開日 平成15年 5 月23日 (2003. 5. 23)

| | | | |
|--------------------------|------|--------------|------------|
| (51)Int.Cl. ⁷ | 識別記号 | F I | データベース(参考) |
| G 1 1 B 5/66 | | C 1 1 B 5/66 | 5 D 0 0 6 |
| 5/64 | | 5/64 | |

審査請求 未請求 請求項の数 4 O L (全 18 頁)

| | | | |
|----------|-----------------------------|---------|---|
| (21)出願番号 | 特願2001-344017(P2001-344017) | (71)出願人 | 000005108 株式会社日立製作所 東京都千代田区神田駿河台四丁目 6 番地 |
| (22)出願日 | 平成13年11月 9 日 (2001. 11. 9) | (72)発明者 | 五十嵐 万壽和 東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地 株式会社日立製作所中央研究所内 |
| | | (73)発明者 | 赤城 文子 東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地 株式会社日立製作所中央研究所内 |
| | | (74)代理人 | 100075096 弁理士 作田 康夫 |

最終頁に続く

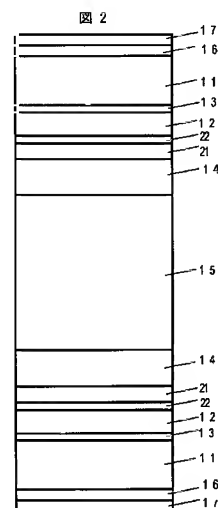
(54)【発明の名称】 磁気記録媒体およびこれを用いた磁気記録装置

(57)【要約】

【課題】 高分解能、低ノイズ、かつ熱揺らぎの小さな高密度磁気記録に好適な磁気記録媒体、及びこの媒体等を用いた場合に実現される大容量磁気記憶装置を提供する。

【解決手段】 非磁性基板上に形成された少なくとも 3 層以上の磁性層を有する磁気記録媒体において、該非磁性基板から最も遠い磁性層を記録磁性層、記録磁性層の次に該非磁性基板から遠い磁性層を安定化磁性層、該記録磁性層と該安定化磁性層とを除く他の全ての磁性層を下層磁性層群とすると、該記録磁性層と該安定化磁性層との間には、接する磁性層の磁化を逆向きにする性質を有する非磁性物質または弱磁性物質からなる接合層を有する AFC 型薄膜型磁気記録媒体であって、該安定化磁性層と該下層磁性層群の再配列が記録後 1 0 ミリ秒以内に概ね終了する磁気記録媒体を用いる。

【効果】 本発明の磁気記録媒体、磁気記録再生装置を用いることにより大容量の記録再生が初めて可能となる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】ディスク形状の基板上に直接または下地層を介して形成された少なくとも3層以上の磁性層と、該3層以上の磁性層の間に設けられた非磁性物質または弱磁性物質からなる接合層とを有する磁気記録媒体において、基板の円周方向に磁界を印加して得られる磁化曲線において磁化の磁界による微分値が少なくとも2つ以上のピークを有し、該2つ以上のピークに対応する磁化変化量を変化量の最も大きい方からdM1、dM2とすると、dM1とdM2の和は飽和磁化量の2倍の90%以上であり、dM1に対するdM2の比dM2/dM1が0.45以上であることを特徴とする磁気記録媒体。

【請求項2】請求項1に記載の磁気記録媒体において、磁界を毎秒3000A/mの大きさで磁界を変化させて得られる磁化曲線における前記磁化変化量dM1、dM2に対応する前記微分ピークをそれぞれピーク1、ピーク2とし、該ピーク2の磁界は最初に磁気飽和させた方向の磁界であり、該ピーク2を与える磁界における磁化量をM2とすると、当該磁化曲線上において、磁化量(M2+0.45×dM2)を与える磁界と磁化量(M2-0.45×dM2)を与える磁界の差ΔHが該ピーク2の磁界の大きさに比べて1.5倍以下であることを特徴とする磁気記録媒体。

【請求項3】基板上に直接または下地層を介して形成された少なくとも3層以上の磁性層と、該3層以上の磁性層の間に設けられた非磁性物質または弱磁性物質からなる接合層とを有し、該非磁性基板から最も遠い磁性層を記録磁性層、記録磁性層の次に該非磁性基板から遠い磁性層を安定化磁性層、該記録磁性層と該安定化磁性層とを除く他の全ての磁性層を下層磁性層群とすると、該記録磁性層の磁化と該安定化磁性層の磁化とは互いに反平行であり、かつ基板側からi番目の磁性層の異方性エネルギー K_{ui} (J/m³)、i番目の磁性層を上面から見た平均粒子直径D、磁性層の膜厚 t_i 、ボルツマン定数kにより、 K_{ui} とDの平方と t_i の積をkで除した値として定義される磁性層の耐熱係数 $(\sqrt{K_{ui}} \times \sqrt{D \times t_i})/k$ が4000以下であることを特徴とする磁気記録媒体。

【請求項4】基板上に直接または下地層を介して形成された少なくとも3層以上の磁性層と、該3層以上の磁性層の間に設けられた非磁性物質または弱磁性物質からなる接合層とを有し、該非磁性基板から最も遠い磁性層を記録磁性層、記録磁性層の次に該非磁性基板から遠い磁性層を安定化磁性層、該記録磁性層と該安定化磁性層とを除く他の全ての磁性層を下層磁性層群とすると、該記録磁性層の磁化と該安定化磁性層の磁化とは互いに反平行であり、かつ、該下層磁性層群を構成する磁性層の厚さは記録磁性層の厚さの0.3倍以下であることを特徴とする磁気記録媒体。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、電子計算機及び情

報処理装置等に用いられる磁気ディスク装置、ディジタルVTR等の情報家電用の磁気記憶装置及びその磁気記録媒体に係り、特に、高密度記録を実現する上で好適な磁気記録媒体およびこれを用いた磁気記憶装置に関する。

【0002】

【従来の技術】情報機器の記憶（記録）装置には、半導体メモリと磁性体メモリ等が用いられる。高速アクセス性の観点から内部記憶装置には半導体メモリが用いられ、大容量・低コストかつ不揮発性の観点から外部記録装置として磁性体メモリが用いられている。磁性体メモリの主流は、磁気ディスク装置、及び磁気テープ、磁気カード装置である。磁気ディスク、磁気テープや磁気カードといった記録媒体に磁気情報を書き込むため、強磁界を発生する磁気記録部が用いられる。更に、高密度で記録された磁気情報を再生するため、磁気抵抗現象ないしは、電磁誘導現象を利用した再生部が用いられる。最近では、巨大磁気抵抗効果、トンネル型磁気抵抗効果も検討され始めている。これら機能部は、磁気ヘッドと呼ばれる入出力用部品に共に設けられている。

【0003】図10に磁気ディスク装置の基本構成を示す。同図(a)は、装置の平面図、(b)は(a)に示されたA-A'での断面図を示す。記録媒体101は、回転軸受け104に固定され、モータ100により回転する。図10では5枚の磁気ディスク、10本の磁気ヘッドを搭載した例において、磁気ディスク3枚分と磁気ヘッド4本について示したが、磁気ディスク1枚以上、磁気ヘッド1本以上であれば良い。磁気ヘッド102は、回転する記録媒体面上を移動する。磁気ヘッドは、アーム105を介してロータリアクチュエータ103に支持される。サスペンション106は、磁気ヘッド102を記録媒体101に所定の荷重で押しつける機能を有する。再生信号の処理及び情報の入出力には、所定の電気回路が必要である。最近では、EPRML(Extended Extended Partial Response Maximum Likelihood)、あるいはこれをエンハンスしたMEPRML(Modified EPRML)と言った、高密度化時の波形干渉を積極的に活用した信号処理回路が導入され、高密度化に大きく寄与している。これらは、ケース108等に取り付けられる。

【0004】磁気ヘッドに搭載される情報の書き込み及び再生機能部は、例えば図11に示す構造から構成される。書き込み部111は、渦巻き型コイル116とこれを上下に包みかつ磁氣的に結合された磁極117と磁極118から構成される。磁極117と磁極118は、共に磁性膜パターンから構成される。再生部112は、磁気抵抗効果素子113と同素子に定電流を流し、かつ抵抗変化を検出するための電極119から構成される。これら書き込み部と再生部の間には、磁氣的なシールド層を兼ねる磁極118が設けられている。磁気抵抗効果素子113の下層にはさらにシールド層115が設けられ

ている。再生分解能は、このシールド層115と磁極(シールド層兼用)118との間隙長が短いほど大きくなる。以上の機能部は、前記磁気ヘッドスライダ1110上に形成されている。

【0005】磁気記録ディスク装置を大容量化するには、図10の記録媒体101に記録される磁化情報を高密度化すればよい。しかし、従来用いられている磁気記録媒体は微小な結晶粒子で構成されているため、高記録密度化に伴い1ビットあたり粒子数が少なくなりノイズが大きくなるという問題があった。これに対し、磁性粒子径を小さくし、磁性粒界での非磁性成分の偏析を促進して磁性粒子間の相互作用を小さくすることでノイズ低減を図って来ている。ところが、最近の年率50%以上の効率でさらに記録密度を高め15Gb/in²程度以上の面記録密度で記録再生しようとする、磁性粒子の体積が小さくなるのに伴い、熱揺らぎによる記録磁化の減衰(熱減磁)が深刻な問題となっている。これは、媒体を構成する粒子の磁化が熱で反転させられる現象で、ノイズ低減のために粒子の径を小さくすると顕著になる。このため、岩崎らによって提案された垂直磁気記録法式では、この熱揺らぎの影響が緩和されることが期待されている。また2000年のIntermag国際会議では、熱減磁抑制対策として富士通、IBMより、磁性層がRuを介して反強磁性的に結合した面内媒体(AFC媒体と呼ぶ)が提案された。この新しく提案された媒体は、書き込み磁界が大きくなってしまい、熱減磁抑制メリットが相殺されてしまう可能性が高いと考えられていた。ここで、図3を用いて本発明のベースとなる反強磁性結合(AFC)媒体について説明する。

【0006】図3は媒体の断面構造を概念的に示したものである。非磁性基板15上に形成された安定化磁性層12、さらに非磁性中間層13を介して形成された記録磁性層11からなる。非磁性中間層13としてRuを用いると、記録磁性層11と安定化磁性層12の間に交換相互作用が働くようになる。このときの結合エネルギーJは、Ru非磁性中間層13の厚さに対して図4に示すような振動的な変化をする。記録磁性層11の磁化方向と安定化磁性層12の磁化方向は、交換結合エネルギーJが負の値をとるときには反平行に、交換結合エネルギーJが正の値をとるときには平行に配置するような交換相互作用が働く。そこでRu非磁性中間層13の厚さを負値のピークの厚さに設定することにより、記録磁性層11の磁化と安定化磁性層12の磁化とを反強磁性的(反平行)に結合させることが可能となる。

【0007】記録磁性層11の膜厚と残留磁化の積は、安定化磁性層12の膜厚と残留磁化の積より大きく採るものとする。簡単のために、記録磁性層11と安定化磁性層12の飽和磁化M_s、磁気異方性エネルギーKuを同じと仮定し、記録磁性層11の粒子体積をv₁、安定化磁性層12の粒子体積をv₂とする。反強磁性相互作用が十分強

い場合には、大きいほど耐熱揺らぎ性が向上する指標となる $K\beta (=Ku*v/(k*T))$ 、k:ボルツマン定数、T:絶対温度)値が $Ku(v_1+v_2)/(k*T)$ となり、記録磁性層11単独の $(Ku*v_1)/(k*T)$ に比べて、安定化磁性層12の持つ $K\beta$ 値 $(Ku*v_2)/(k*T)$ だけ大きくなり、熱的に安定となる。ところが、記録磁性層11の磁化と安定化磁性層12の磁化とが反平行であるため、全体の飽和磁化が実効的に減少してM_s(v₁-v₂)/v₁となるため、磁化を反転させる磁界を決定する系の実効的な異方性磁界 $(2*Ku/M_s)$ は、 $(2*Ku/M_s)*(v_1+v_2)/(v_1-v_2)$ となる。したがって熱的安定性を得ようとしてv₂を大きくすればする程、磁化の反転磁界が大きくなることが理解される。しかし、2001年のIntermag国際会議では、反強磁性結合があまり大きくないAFC媒体では書き込み磁界が大きくなることが報告された。この場合、媒体の実効的な $K\beta$ 値は記録磁性層の $K\beta$ 値にほぼ一致する。ただし、上下層の磁気特性がほぼ等しいこのAFC媒体では、R/W特性が劣化しており、同等のR/W特性を得るために全体の膜厚を薄くすると熱減磁特性の改善効果は極めて小さくなり、熱揺らぎ特性とR/W特性の両立が困難であった。反強磁性結合があまり大きくないAFC媒体では、書き込み時に記録磁性層11の磁化と安定化磁性層12の磁化とが平行になっているモデルが報告されている。我々は、この反強磁性結合があまり大きくないAFC媒体において、安定化磁性層の磁気異方性磁界を記録磁性層の磁気異方性磁界に比べて小さくすることにより、大きな記録特性の改善が得られることを提案している。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】図12を用いて、前記反強磁性結合があまり大きくないAFC媒体の設計上の注意点について説明する。図12は、50kfc²/in²の記録密度でAFC媒体に記録した直後からの再生出力の変化を模式的に示したものである。記録直後は、記録磁性層の磁化と安定化磁性層の磁化とが平行になっているので大きな出力が得られている。時間の経過とともに、安定化磁性層の磁化が反転して記録磁性層の磁化と反平行になってゆく(再配列過程)ため、出力が急激に減少する。ただし、この間の記録磁性層の磁化はあまり変化していない。十分な時間(再配列完了時間)が経過すると、ほとんどの安定化磁性層の磁化が反転して記録磁性層の磁化と反平行になるので、再生出力の減少はきわめて緩やかになる。反強磁性結合磁界によって記録層の磁化の耐熱安定性が向上したためと考えられる。図中では、記録直後から一定時間(回転待ち時間)までの間を点線で示している。ここで言う回転待ち時間は、同じヘッドで記録再生を行う場合における最短待ち時間で、磁気情報が記録された媒体部分が再生の為にヘッド直下に再び移動して来るまでのディスク1回転に必要な時間である。ここで、再配列中の再生特性の問題点は、以下の3点である。1)再配列過程における急激な出力変化によりエラ

エラーレイトが増加する。2) 再配列過程では記録磁性層の磁化と安定化磁性層の磁化とが平行になっている部分と反平行になっている部分が混在するため両者の境界にノイズが発生し、エラーレイトが増加する。3) 記録磁性層の磁化と安定化磁性層の磁化とが平行になっている部分では再生実効膜厚が大きいのが高記録密度における再生出力が低下する。したがって、AFC媒体においては、記録後、最初に再生する前に、再配列が完了しているように媒体を設計する必要がある。すなわち、再配列完了時間<回転待ち時間、である。

【0009】再配列完了時間は、安定化磁性層の膜厚に依存しており、該安定化磁性層の異方性エネルギーを K_u (J/m^3)、上面から見た平均粒子直径を D 、膜厚を t_2 とし、ボルツマン定数を k するとき、 $K_u D^2$ の平方と t_2 の積を k で除した値 ($K_u D^2 \times D \times t_2 / k$) を当該安定化磁性層の耐熱係数とすると、当該磁性層の耐熱係数が4000以下となるよう磁性層の厚さ t_2 が設定される必要がある。典型的には、 $K_u = 160 \text{ kJ/m}^3$ 、 $D = 9 \text{ nm}$ のCoCrPt合金薄膜では、4.5 nmを上限(臨界膜厚)とする必要がある。同様にして、装置性能を示す信号ノイズ比S/Nは、図1に示すように安定化磁性層の膜厚 t_2 とともに約4.5nmまでは単調に増加する。安定化磁性層の膜厚が4.5nmを超えて急に劣化するの、安定化磁性層の再配列が再生時点でまだ終了していないため、記録磁性層—安定化磁性層間の打消しが不十分となり、ノイズが発生しているからであると考えられる。

【0010】本発明の目的は、AFC構造媒体における安定化磁性層の再配列を早めることにより、高分解能、低ノイズ、かつ熱揺らぎの小さな高密度磁気記録に好適な磁気記録媒体、及びこの媒体等を用いた場合に実現される大容量磁気記憶装置を提供することにある。

【0011】
【課題を解決するための手段】以下、非磁性物質または弱磁性物質からなる接合層によって隔てられた3層以上の磁性層を有する面内磁気記録媒体において、該非磁性基板から最も遠い磁性層を記録磁性層、記録磁性層の次に該非磁性基板から遠い磁性層を安定化磁性層、該記録磁性層と該安定化磁性層とを除く他の全ての磁性層を下層磁性層群と呼ぶことにする。前記目的を実現するため、媒体構造、材料、プロセス、及びヘッド等の装置関係技術に付いて鋭意検討を進め、安定化磁性層の下地に安定化磁性層の反転を促す下層磁性層群を用いることが有効であることを発見した。該下層磁性層群は、安定化磁性層に比べて熱揺らぎの影響を受けやすく設定し、この揺らぎによって安定化磁性層の再配列を促すものである。また、安定化磁性層を弱い強磁性結合を誘発する接合層によって分断することも、前記目的を実現する極めて有効な手段であることが分かった。適度に分断された各磁性層は、熱揺らぎの影響が大きくなり再配列が速くなるが、記録磁性層の耐熱特性にはほとんど影響がな

い。

【0012】AFC媒体特性の理解と改良には、書込み後の再配列過程の制御が重要である。書込み直後に記録磁性層11の磁化と、ほぼ平行であった安定化磁性層12の磁化とが熱揺らぎの影響で反転し、反平行になる過程である。熱揺らぎによる反転は確率過程であって、ほとんどの安定化磁性層の磁性粒子が再配列を完了し、上下層で反平行な磁化の対となるには有限な時間を要する。再配列が未完の場合には、残留磁化が大きすぎて再生分解能が劣化し、熱減磁も大きくなる。再配列完了の推定には、磁化曲線を調べるのが有効である。

【0013】図5は、従来の2層(記録磁性層と安定化磁性層) AFC媒体の磁化曲線とその微分を示したものである。媒体のトラック方向に磁界を印加して磁気飽和させた後、磁界を減少させ、さらにこのトラックの逆方向に磁界を印加して磁気飽和に至らせる過程(M-Hループ)においては、積層された磁性層の各層ごとの磁化が異なる磁界で反転するのが観察される。図5(a)は、毎秒300A/mの大きさで磁界を減少させて測定した磁性層2層からなるAFC媒体のM-Hループの一例を示したものである。図の横軸を磁界軸とし、トラック方向を正として示した。図では、逆方向に磁界を印加して磁気飽和に至らせる後、磁界を大きくしてトラック方向の大きな磁界で再度磁気飽和に達するまでの過程を点線で示している。プラスの大きな磁界からマイナスの大きな磁界へ変化する間に大きく2回に分けて変化しているのが分かる。1つ目の変化は、プラスの小さな磁界で発生しており、磁化の変化量が他方の磁化変化量に比べて小さいことから安定化磁性層の磁化反転に対応していると考えられる。マイナスの大きな磁界における磁化の変化は、記録磁性層の磁化反転に対応する。図5(b)は、図5(a)の実線のM-Hループを磁界によって微分したものである。図5(b)では、それぞれの磁化反転に対応したピークが見られる。図5の例では、磁界が0の残留状態のとき、安定化磁性層の磁化反転に伴う磁化の変化は消失しており、再配列が完了していると考えられる。図6(a)、(b)は、図5と同じAFC媒体を毎秒3000A/mの大きさで磁界を減少させて測定したM-Hループとその磁界微分を示したものである。

【0014】図6では、安定化磁性層の磁化反転する磁界がほぼ0へと移動しているのが分かる。これは磁界の変化が大きかったために安定化磁性層が磁化反転するタイミングが遅れたためと考えられる。これに対して記録磁性層の磁化反転する磁界は余り大きな変化が見られない。この原因は、安定化磁性層の磁化反転が熱揺らぎによって確率的に起っているとすると理解しやすい。実際、毎秒300A/mの磁界減少でも測定温度を約60度下げることにより、図6とほぼ同じM-Hループが得られた。図6では、磁界が0の残留状態のとき、安定化磁性層の磁化反転は、まだ半分しか終わっていない。この状

態では、残留磁化が大きく、さらに時間とともに大きく減少する。図6の測定よりもさらに大きな磁界変化、またはより低温での測定では、安定化磁性層の磁化反転する磁界がマイナスの値へと移動する。以上のことから、1) AFC媒体のM-Hループまたはその磁界微分を調べることにより、再配列の状況が把握できること、2) M-Hループ測定時の磁界掃引速度を一定としても、磁界掃引速度を変えた場合とほぼ等価な測定温度が存在すること、が判明した。

【0015】図6の磁化曲線において安定化磁性層の反転が終わった段階(磁界)で磁界の変化の向きを逆転させ、マイナーループを形成したのが、図7である。安定化磁性層がヒステリシスを持っているのが分かる。このマイナーループは、プラスの磁界方向にシフトしており、マイナーループ中心磁界を通常、反強磁性結合磁界Hexと呼んでいる。記録磁性層と安定化磁性層の反強磁性的交換相互作用の大きさJは、 $Hex/(Ms2+t2)$ で見積もられる。ただし、Ms、t2は、安定化磁性層の飽和磁化と膜厚である。また、このマイナーループの磁界方向の差し渡しの半値は、安定化磁性層の保磁力と考えられる。メジャーループの磁界方向の差し渡しの半値は、記録磁性層の保磁力である。安定化磁性層は記録磁性層に比べて熱揺らぎが大きく、測定温度が変わると保磁力が大きく変化する。図8は、記録磁性層、安定化磁性層の保磁力の温度変化を示したものである。これらは、概直線的に推移しており、200ケルビンおよび100ケルビンにおける保磁力を直線で結ぶとほぼ絶対0度になる。本測定においては、磁界掃引速度によって200ケルビンおよび100ケルビンにおける保磁力値は変化するが、絶対0度における推定値は変らない。この推定値は、前記異方性磁界に対してほぼ40%の値となっている。

【0016】3層以上の磁性層を有する場合には、磁化の磁界による微分値が少なくとも3つ以上のピークを持つ可能性が有る。それぞれのピークに対応した前記過程における磁化変化量を、値が大きい方から降順にdM1、dM2、dM3のように呼ぶものとする、dM1は記録磁性層の磁化に対応しており、これを与える磁界は、該磁化過程において最初に磁化された方向の反対方向を向いている。各ピークに対応する磁化の変化量は、図17(b)に示すような下駄部分と微分曲線とで囲まれた斜線部分の面積で与えられる。各ピークに対応する磁化の変化量の総和は、測定媒体を十分飽和した時の磁化量の2倍に対して、概ね60%から75%の間となる。dM2以下の磁化変化は、安定化磁性層と下層磁性層群の磁化変化である。再配列の完了は、該磁化過程において、記録磁性層以外の磁化磁化変化に対応するピークが全て最初に磁化された方向を向いている(ピークがある)ことで確認できる。

【0017】磁気ディスク装置において書き込み直後にデ

ィスクが1回転し、読み取り動作に入るまでの時間を約10ミリ秒と考え、この時間までに安定化磁性層および下層磁性層群の磁化反転が終わり再配列が完了する条件につき種々のAFC媒体において検討したところ、毎秒3000A/mの大きさで磁界を変化させる場合には、135ケルビンにてM-Hループ測定をし、その磁界微分を取ったとき、安定化磁性層の下層磁性層群の磁化変化に対応するピークを与える磁界が0またはプラスの値であれば良いことが分かった。磁界掃引速度を速める場合には、1桁あたり約30度高い温度で測定すれば良い。

【0018】また、216ケルビン(ドライアイス温度)、磁界を毎秒3000A/mの大きさで磁界を変化させて測定する場合、安定化磁性層と下層磁性層群の再配列が、磁界がゼロとなった時点で完了するという条件でも、記録後10ミリ秒までに安定化磁性層および下層磁性層群の磁化反転が終わり再配列が完了する条件と一致することが分かった。これには、前記磁化変化量dM1、dM2に対応する前記微分ピークをそれぞれピーク1、ピーク2とし、該ピーク1と該ピーク2の磁界の符号を考慮した平均磁界において該磁化曲線に引かれた接線がゼロ磁界を横切るときの磁化量をMrte、当該磁化曲線のゼロ磁界における実際の磁化量をMrtaとすると、両磁化量の差(Mrte-Mrta)のピーク2の磁化変化量dM2の比 $(Mrte-Mrta)/dM2$ が、0.05以下であればよい(図7)。前記磁化曲線においてピーク2の磁化変化量dM2の95%が変化した時の磁界を特にHx95とすれば、前記条件は、 $Hx95>0$ で与えられる。さらに、該ピーク2を与える磁界における磁化量をMt2とすると、当該磁化曲線において、磁化量(Mt2+0.45×dM2)を与える磁界Hxと磁化量(Mt2-0.45×dM2)を与える磁界の差ΔHが該ピーク2を与える磁界の大きさに比べて1.5倍以下と成っているかどうかを調べても良い(図20)。これらは、安定化磁性層の反転磁界の分散の指標となる。分散が大きい場合には、臨界膜厚より薄い膜厚からノイズが増大する傾向が見られる。

【0019】3層以上の磁性層を有する場合に、良好な書き込み特性を得るには、前記安定化磁性層と前記下層磁性層群のピークは一致していたほうが良い。このとき、書き込みバブル(ヘッド磁界による磁化反転領域の境界)の位置が、該安定化磁性層と該下層磁性層群とで一致した状態と考えられる。この場合、各磁性層の異方性磁界は、基板に近いほど小さくする必要がある。ただし、記録ヘッドと該安定化磁性層の距離および記録ヘッドと該下層磁性層群の距離が大きく違わない限りにおいては、該安定化磁性層と該下層磁性層群との異方性磁界を一致させても大きな書き込み性能の劣化とはならない。

【0020】さらに、記録磁性層に形成された書き込みバブルに対して、安定化磁性層と下層磁性層群に形成された書き込みバブルが30nm以上、好ましくは40nmから90

nm外側に有ることによって、さらに良好な書き込み特性が得られることが、磁化遷移幅のマイクロ磁気シミュレーションの結果より明らかとなっている。改善効果が大きい場合には、磁気異方性の小さな安定化磁性層に形成される磁化遷移の位置が、記録磁性層の遷移位置よりヘッド後方に形成されており、安定化磁性層の磁化遷移からの磁界によって、記録磁性層の遷移位置のヘッド磁界が変調を受け磁界勾配 dH/dx が急峻化されていることが判明した。記録磁性層の遷移位置と安定化磁性層の遷移位置との差が磁化遷移幅以上に近づくと、この効果は急速に消失する。記録磁性層と安定化磁性層の絶対零度における保磁力の推定値の差を磁化遷移幅と磁界勾配との積で除した値 $(H_{c01}H_{c02}) / (\pi a \times dH/dx)$ が0.8より小さい場合には、安定化磁性層の磁化遷移からの磁界が逆に作用するようになり、磁化遷移幅は急速に増大する。値 $(H_{c01}H_{c02}) / (\pi a \times dH/dx)$ が0.9以上1.5以下であれば、十分なヘッド磁界磁界勾配の急峻化が得られる。値 $(H_{c01}H_{c02}) / (\pi a \times dH/dx)$ が1.5を越える場合には記録磁性層の遷移位置と安定化磁性層の遷移位置との差が大きすぎてヘッド磁界がほとんど変わらない。

【0021】安定化磁性層と下層磁性層群に形成された書き込みパブルの形成位置の前記関係を満たすには、記録磁性層の異方性磁界に対する安定化磁性層の異方性磁界の比を0.7以下、さらに望ましくは0.2以上0.6以下とするのが良い。磁気力顕微鏡(MFM)により、孤立遷移の磁化遷移幅を観察すると、AFC媒体の安定化磁性層の磁気異方性磁界 H_{k2} と、記録磁性層の磁気異方性磁界 H_{k1} との比 H_{k2}/H_{k1} に応じて磁化遷移幅が変化することが分かる。単層面内媒体との比較により、比 H_{k2}/H_{k1} が0.7を越えると、記録磁性層と同じ膜厚の単層面内媒体より広い磁化遷移幅となり好ましくない。さらに、比 H_{k2}/H_{k1} が0.2以上0.6以下であれば実効膜厚が同等の単層面内媒体と同程度の急峻な磁化遷移幅が得られる。磁気力顕微鏡(MFM)により、孤立遷移の磁化遷移幅を観察すると、AFC媒体の安定化磁性層の磁気異方性磁界 H_{k2} と、記録磁性層の磁気異方性磁界 H_{k1} との比 H_{k2}/H_{k1} に応じて磁化遷移幅が変化する。単層面内媒体との比較により、比 H_{k2}/H_{k1} が0.7を越えると、記録磁性層と同じ膜厚の単層面内媒体より広い磁化遷移幅となり好ましくない。さらに、比 H_{k2}/H_{k1} が0.2以上0.6以下であれば実効膜厚が同等の単層面内媒体と同程度の急峻な磁化遷移幅が得られる。

【0022】該異方性磁界の比の推定には、100ケルビン以上離れた適当な温度、たとえば、216ケルビン(ドライアイス)と77ケルビン(液体窒素)において測定された記録磁性層および安定化磁性層の微分ピークを与える磁界を絶対温度零度以外挿してえられる磁界の値を、それぞれ H_{x01} および H_{x02} とし、 H_{x01} に対する H_{x02} の比を用いれば良い。また、異なる磁界変化、たとえば、毎秒300A/mおよび毎秒3000A/mで測定された記録

磁性層および安定化磁性層の微分ピークを与える磁界を、1ナノ秒間にピーク1を与える大きさの磁界だけ変化する磁界変化量に対数軸上で外挿して求めた磁界の値を、それぞれ H_{x1} 、 H_{x2} とすると、 H_{x1} に対する H_{x2} の比を上記異方性の比推定値としても良い。各磁性層の磁気異方性磁界の測定には、強磁性共鳴法を用いても良い。磁界を膜面垂直に印加することにより、面内に磁気異方性軸を持つ媒体の異方性磁界 H_k が測定可能となる(J. Appl. Phys., Vol. 85, No. 8, 4720(1999)。共鳴周波数を f 、磁気回転比を γ 、磁性層の飽和磁束密度を B_s 、とすると、

$$(2\pi f/\gamma)^2 = (H_r - B_s)(H_r - B_s - H_k)$$

で与えられる共鳴磁界 H_r が各磁性層の H_k に対応してえられる。各磁性層において、飽和磁束密度と異方性磁界の組み合わせが異なっていれば、別の共鳴磁界ピークとして観測できる。

【0023】安定化磁性層の再配列は一般に、その厚さとともに遅れるものと考えられる。これは図7に示すように、安定化磁性層膜厚に反比例する反強磁性結合磁界の減少の影響と、安定化磁性層がヒステリシスを持つようになりマイナーループが生じることによる影響がある。どちらの影響であっても、上記磁化過程において磁界をゼロとしたときに、再配列が終了していない場合には、安定化磁性層による記録磁下層の打消しが十分におこなわれない。図13は、上記磁化過程において磁界をゼロとしたときの磁化量を、安定化磁性層の厚さに対してプロットしたものの1例を示したものである。記録磁性層と安定化磁性層の2層からなる従来AFC媒体においては、安定化磁性層の膜厚の増加とともに記録磁性層の磁化が打ち消されて媒体全体の磁化量が減少するが、約4.5nmを境として(臨界膜厚)急増に転ずる。4.5nmを超えると再配列が終了しないことを示している。2層AFC媒体における安定化磁性層の臨界膜厚 t_{cl} は、反強磁性結合の大きさによって多少変化するが、概ね、該安定化磁性層の異方性エネルギーを K_u2 (J/m³)、上面から見た平均粒子直径を D 、ボルツマン定数を k とすると、 K_u2 と D の平方と t_{cl} の積を k で除した値 $(K_u2 \times D \times D \times t_{cl}/k) = 4000$ によって決定される。実際の装置における媒体設計においては、磁気特性等のバラツキを考慮して、臨界膜厚より1.5nm程度薄い値を上限とすべきである。室温の磁化曲線の測定から得られた臨界膜厚は、ノイズが急増する膜厚より1~2ナノメートル程度大きな値が得られる。

【0024】図13には、本発明の4層AFC媒体における再配列促進効果の例を重ねて示してある。実効安定化磁性層厚 t_a 、安定化磁性層および下層磁性層(群)の飽和磁化と膜厚の積の和を安定化磁性層の飽和磁化で除したものをを用いた。飽和磁化は、各磁性層を単独で10nm形成した膜の磁化測定より求めたものを用いた。図より、臨界膜厚 t_{cl} は、6.5nmまで厚くなったことが分かる。 $dM1$ に対する $dM2$ の比は、臨界膜厚が4.5nmの時の0.41か

ら、隣界膜厚が6.5nmの時の0.59へと増大させることができた。

【0025】記録磁性層と安定化磁性層の間にある接合層が接する磁性層の磁化を逆向きにする性質を有するためには、公知例にもあるようにRu、または、Ir、Rh、Cr、Cu、Reからなる群から選ばれた少なくとも1種の金属元素を用いるとよい。Rh、Cuは、延性、展性に富む金属であり、反強磁性結合磁界が最大になる厚さもRu、Ir、Reの約倍の0.8nm程度であるため、厚さむら、ピンホール等による反強磁性結合磁界のディスク面内のバラツキが小さく、磁気特性のそろった良質の媒体が得られる。また、Ru、Ir、Reは、反強磁性結合磁界が得られる膜厚の範囲がその平均に比べて広いので、工程管理的に優れている。非磁性中間層としてCu、Crを用いる場合は、Co合金磁膜との格子整合性が良いので記録磁性層の結晶性、配向性が向上する。Crを用いる場合には、接する磁性膜、または磁性膜の表面にFeが含まれていると大きな反強磁性結合磁界が得られて良い。

【0026】また、RuとMo、Re、W、Crからなる群から選ばれた少なくとも1種の金属元素とを含む合金、または、RhとPt、Pdから選ばれた少なくとも1種類以上の元素合金とを含む合金である場合にはRuやRhに他の金属元素が良く固溶するので結合エネルギーを制御して低下させるのに有用である。AFC媒体の反強磁性結合磁界は、本発明の実効安定化磁性層厚に反比例して減少する。記録磁性層または安定化磁性層の接合層に接する領域で同一磁性層内の他の領域より飽和磁化が大きい領域を設けることにより、記録磁性層と安定化磁性層の反強磁性結合を強化するようなエンハンス構造（特願2000-107071）等の併用により、本発明のメリットを十分に引き出すことができる。安定化磁性層をCoまたはCoを90%以上含む合金としても良い。また、接合層をRF法で作成すると大きな反強磁性結合磁界が得られる。DC法では得られる反強磁性結合磁界はRF法の1/3程度であるが、MBE法よりも倍大きい。接合層の作成には、必要な結合磁界が得られる方式を用いるのが良いまた、接する磁性層の磁化を逆向きにする性質を有する接合層が複数有る場合には、互いに他の接合層に含まれない元素を含ませることにより、生産工程管理が容易になる。

【0027】安定化磁性層および下層磁性層群は、Co、Fe、NiまたはCoを主成分とし、Fe、Ni、Cr、Ta、Pt、Pd、Ruの中から選ばれた少なくとも1種の元素を含む合金、または加えてB（ボロン）またはO（酸素）を含む合金を用いると良い。Co、Fe、NiまたはCoを主成分とするFeまたはNi合金は、飽和磁化が大きく、記録磁性層との実効的な反強磁性結合を高める働きがある。安定化磁性層形成時に微量の酸素を導入すると、安定化磁性層が細分化され、再配列が促進する。また、Coを主成分とし、Cr、Ta、Pt、Pd、Ruの中から選ばれた少なくとも1種の元素

を含む合金を用いるとき、Co組成が85at%以上になると、安定化磁性層内の磁性粒子間の交換相互作用が大きくなり、反転磁界の幅が小さくなってS/N比が向上する。安定化磁性層内の磁性粒子間の交換相互作用が大き過ぎる場合には、安定化磁性層内の磁化遷移領域が乱れるのでS/N比は急に悪くなる。安定化磁性層内の磁性粒子間の交換相互作用が大きくなり、反強磁性結合を誘導する接合層の数を奇数とすることにより、下層磁性層群内での磁化の打消しが十分に行える。

【0028】下層磁性層群を構成するそれぞれの磁性層の厚さtiは、基板からi番目の磁性層の異方性エネルギーをKui (J/m³)、上面から見た平均粒子直径をD、膜厚をtiとし、ボルツマン定数をkするとき、KuiとDの平方とtiの積をkで除した値 (Kui×D×D×ti/k) を当該磁性層の耐熱係数とすると、当該磁性層の耐熱係数が400以下となるよう設定されることによって、下層磁性層群の再配列が10ミリ秒以下となる。安定化磁性層の磁化反転を促進する場合には、下層磁性層群の耐熱係数は、3000以下とすべきである。この場合、下層磁性層群の耐熱係数は非磁性基板から遠ざかるに従って大きくなるように設定することにより、非磁性基板から再配列を進めることができ、安定な再配列が期待できる。記録磁性層と下層磁性層群のKuが近い場合には、前記耐熱係数を満たす条件は、下層磁性層群の各磁性層の膜厚は記録磁性層の厚さの約0.3倍以下であることである。同様にして、非磁性基板から遠ざかるに従って磁性層の厚さを、厚くすることによって、基板側からの再配列が誘導できる。また、下層磁性層群の厚さをほぼ等しくする時には、前記Kuの推定式を用いて、Npの80%からNcを引き、さらにNbの55%を引いた値 (0.7×Np-Nc-0.55×Nb) が非磁性基板から遠ざかるに従って小さくなることによって、基板側からの再配列が誘導できる。

【0029】各磁性層の磁気異方性エネルギーKuの推定は、各磁性層の組成を持つ単層（10nm）を作成し、残留保磁力のパルス時間依存性をVSM測定や逆D-C消磁法より求め、Sharrockの式にフィッティングして求めたKβ値やHkの値から関係式Kβ=Ku+v/(kT)やHk=2×Ku/Msを使って算出すればよい。また、磁性層がCoCrPtB磁性薄膜である場合には、Crの原子組成をNc、Ptの原子組成をNp、Bの原子組成をNbとし、式Ku= (4.4-0.18×Nc+0.15×Np-0.1×Nb) ×100000J/m³から簡易的に算出しても良い（図22）。

【0030】安定化磁性層や下層磁性層群を弱い強磁性結合を誘発する接合層によって分断することにより、これらの磁性層の耐熱係数を下げること、再配列を促進する有効な手段である。弱い強磁性結合の大きさは、接合層の交換表面結合エネルギーが5/100000J/m²より小さい時に良好に分断される。RuとNb、Ti、Pd、Pt、Au、Cu、Pt、Pdからなる群から選ばれた少なくとも1種の金属元素とを含む合金は、ほとんど固溶しない為、図

4のRuTi合金の結合エネルギーに示すように振動的性質が失われ、指数関数的な減衰のみが観測されるので、隣接する磁性層の磁化の向きが略平行な接合層には好適である。特にRuとPtまたはPdの合金は、比較的、接合層膜厚に対する減少が緩やかで、扱いやすい。

【0031】磁性体を接合層とする場合には、該接合層の厚さを t_{cr} とすると交換表面結合エネルギー J は交換スティフネス定数 A の2倍を t_{cr} で除した値となる。Coを主成分とし、Fe、Ni、Cr、Ta、Pt、Pd、Ruの中から選ばれた少なくとも1種の元素を含む合金、または加えてB(ボロン)またはO(酸素)を含む合金は、組成によって飽和磁化、 A が変化するので、隣接する磁性層の磁化の向きが略平行な接合層には好適である。また、Coを主成分とし、Cr、Ta、Pt、Pd、Ruの中から選ばれた少なくとも1種の元素を含む合金を用いるとき、Co組成を85at%以上にすると、安定化磁性層内の磁性粒子間の交換相互作用が大きくなり、反転磁界の幅が小さくなってS/N比が向上する。安定化磁性層内の磁性粒子間の交換相互作用が大き過ぎる場合には、安定化磁性層内の磁化遷移領域が乱れるのでS/N比は急に悪くなる。接合層として、厚さが0.1nmから0.4nmまたは1.0nmから1.6nmのRu、またはIr、Rh、Cu、Reからなる群から選ばれた少なくとも1種の金属元素、またはRuとMo、Re、W、Crからなる群から選ばれた少なくとも1種の金属元素とを含む合金、またはRhとPt、Pdから選ばれた少なくとも1種類以上の元素合金とを含む合金、または、厚さが0.2nmから1.0nmまたは2.5nmから3.2nmのCr、またはCrを主成分とする合金を用いても隣接する磁性層の磁化の向きが略平行なとすることができる。

【0032】安定化磁性層と下層磁性層群を弱い強磁性結合を誘発する接合層によって分断する場合にも、基板から i 番目の磁性層の異方性エネルギーを K_{ui} (J/m³)、上面から見た平均粒子直径を D 、膜厚を t_i とし、ボルツマン定数を k するとき、 K_{ui} と D の平方と t_i の積を k で除した値($K_{ui} \times D \times D \times t_i / k$)を当該磁性層の耐熱係数とすると、当該磁性層の耐熱係数が4000以下となるよう設定されることによって、安定化磁性層と下層磁性層群の再配列が10ミリ秒以下となる。典型的には各磁性層の厚さは5ナノメートルより設定すればよい。

【0033】安定化磁性層および下層磁性層群が全て略平行であるような磁気記録媒体において、安定化磁性層と下層磁性層群の再配列時間がほぼ同じとなるようにするには、交換結合磁界の影響を考慮して、安定化磁性層の耐熱係数を下層磁性層群のうち最も基板に近い磁性層の耐熱係数に比べて多少大きくする必要がある。安定化磁性層と下層磁性層群とを全て同じ材料で構成する場合には、安定化磁性層の厚さが下層磁性層群のうち最も基板に近い磁性層の厚さに比べて大きくすることで、良好な記録特性と再生特性が得られる。

【0034】安定化磁性層は記録磁性層と反強磁性結合

を誘導する接合層を介して接しており、安定化磁性層の磁化状態によって記録磁性層の熱減磁が大きく変化する。安定化磁性層と記録磁性層の磁化が反平行の場合には、AFC効果で記録磁性層の熱減磁が抑制される。安定化磁性層と記録磁性層の磁化が平行の場合には、逆に記録磁性層の熱減磁が誘発される。したがって、安定化磁性層の再配列を下層磁性層群の再配列に先立って速やかに完了することで、再配列中の記録磁性層の熱減磁を抑制することが可能となる。安定化磁性層の厚さを、該安定化磁性層に接する下層磁性層群の厚さに比べて薄くすることで本目的が達成される。典型的には2ナノメートル以下とするのが良い。

【0035】記録磁性層には通常磁気記録媒体として用いている、Co-Cr-Pt、Co-Cr-Pt-B、Co-Pt、Fe-Co-Ni合金等のCo、Fe、Niからなる群から選ばれた少なくとも1種の金属元素を50at%以上含む結晶質磁性体を用いればよい。ただし、従来の単層磁性層媒体より厚めに作成する必要があるため、粒径の拡大を抑制し、粒内の交換相互作用を下げない配慮が必要となる。また、本発明を用いて、更なる高記録密度媒体を作成する場合、磁性粒径に比して記録磁性層の厚さが2倍を超えることが予想される。このとき、磁性粒内で磁化が一斉回転しないと耐熱揺らぎ特性が著しく低下する。記録磁性層内の交換スティフネス定数が3ピコJ/mより大きい場合、記録磁性層の飽和磁化が0.85テスラを超える場合、記録磁性層のCo組成が83at%を超える場合に本目的が達成される。

【0036】本発明の記録媒体は、記録磁性層の厚さに対して、該記録磁性層磁化を打ち消す安定化磁性層と下層磁性層群の合計の厚さが大きいので、記録再生の実効膜厚を低減することが可能となり、全磁性層の合計値に対する記録媒体に形成された最小磁化遷移幅の比が1.5より小さくすることが可能となる。

【0037】非磁性基板には、ガラス、NiPメッキAl、セラミックス、Si、プラスチック等からなる3.5、2.5、1.8、1径等の円盤状もしくはテープ、カードの形状をしており、さらに表面にCr、Mo、W、Ta、V、Nb、Ti、Ge、Si、Co、Niからなる群から選ばれた少なくとも1種の元素を含む、Cr、Mo、W、CrMo、CrTi、CrCo、NiCr、Ta、CoCr、Ta、TiCr、C、Ge、TiNb、非磁性CoCr/CrTi積層下地、非磁性CoCrTa/CrTi/Cr積層下地等の非磁性層を形成させることにより、磁性層の結晶粒径、配向性、格子整合性が制御できる。表面の非磁性層を多層化することは、制御の自由度が増え、特に熱揺らぎの低減等での見地で、更に好ましい。

【0038】記録された情報の再生には、巨大磁気抵抗効果素子あるいは、磁気抵抗効果を示すトンネル接合膜を用い、実効トラック幅が0.5μm以下である再生素子を有する磁気ヘッドとを組み合わせる磁気情報の再生を行う事で、信号処理方式の助けを借りて、装置動作に

必要な20dB以上の装置S/Nが得られ、EEPRMLやMEPRML、トレリス符号、ECC等と組み合わせる事で面記録密度50 Gb/in²以上で記録再生する事が出来る。記録部に、飽和磁束密度が1.8 T以上の磁極を用いたヘッドを用いることで、より大きな磁気異方性を有する記録磁性層材料が使えるようになるので好ましい。ここで、巨大磁気抵抗効果素子(GMR)、及びトンネル型磁気ヘッドについては、特開昭61-097906、特開平02-61572、特開平04-358310、特開平07-333015、及び特開平02-148643、02-218904号各公報に記載されている技術であり、K_rFステッパによるリソグラフィ、もしくはFIB加工技術等を駆使して実効トラック幅が0.5μm以下を実現した。

【0039】本発明を用いることにより、磁気異方性の最適値を規定した前述の安定化磁性層の磁気異方性磁界を記録磁性層の磁気異方性磁界に比べて小さくする媒体(特願2001-?(中研)31010410)のメリットを実効安定化磁性層厚(安定化磁性層および下層磁性層群の飽和磁化と膜厚の積の和を安定化磁性層の飽和磁化で除したもの)が厚い領域まで十分に引き出すことができる。これは、磁気異方性エネルギーを小さくすることで再配列を促進しようとする場合、十分な記録層の耐熱減磁特性が得られないためである。

【0040】

【発明の実施の形態】以下に、本発明の内容を実施例および比較例によって詳細に説明する。

(実施例1) 図2を用いて本発明の第1の実施例を述べる。図は、本発明を実施した磁気ディスクの概念図である。図2は、図14に示す構成の3層型AFC媒体を非磁性基板15の両面に作成したものである。本実施例では、比較として図3に示すような従来型2層AFC媒体や図13および図15に示す構成の4層型AFC媒体についても併せて説明する。15はガラス、NIPメッキAl、セラミックス、Si、プラスチック等からなり、3.5、2.5、1.8、1径等の円盤状もしくはテープ、カード状の非磁性基板、記録磁性層11は通常磁気記録媒体として用いている、CoCrPtB、CoCrPt、CoCrPtO、CoCrTa、CoNiPt、CoPt-SiO₂、FeNiCo、CoFeTa、NiTa、CoW、CoNb、GdFeCo、GdTbFeCo、Fe-N、Co-CoO、Co-Pt合金等のCo、Fe、Niからなる群から選ばれた少なくとも1種の金属元素を50at%以上含む結晶質磁性体、安定化磁性層12および下層磁性層群21はCo、Fe、NiまたはCoを主成分とし、Fe、Ni、Cr、Ta、Pt、Pd、Ruの中から選ばれた少なくとも1種の元素を含む合金、または加えてB(ボロン)またはO(酸素)を含む合金層である。

【0041】安定化磁性層12や下層磁性層群21にB(ボロン)またはO(酸素)が含まれていると、磁性粒径が小さくなりノイズ低減効果が顕著となる。また、安定化磁性層12および下層磁性層群21としてCoを主成分と

し、Cr、Ta、Pt、Pd、Ruの中から選ばれた少なくとも1種の元素を含む合金を用いるとき、Co組成を85at%以上にすると、安定化磁性層内の磁性粒子間の交換相互作用が大きくなり、反転磁界の幅が小さくなってS/N比が向上する。非磁性下地層14は、Cr、Mo、W、Ta、V、Nb、Ta、Ti、Ge、Si、Co、Niからなる群から選ばれた少なくとも1種の元素を含む、Cr、Mo、W、CrMo、CrTi、CrCo、NiCr、Ta、CoCr、Ta、TiCr、C、Ge、TiNb、非磁性CoCr/CrTi積層下地、非磁性CoCrTa/CrTi/Cr積層下地等の非磁性層である。非磁性下地層14を多層化することにより磁性層の結晶粒径、配向性、格子整合性が容易に制御できる。16はN添加C、H添加C、BN、ZrNbN等の保護膜、17はOH、NH₂等の吸着性、もしくは反応性の末端基を有するパーフルオロアルキルポリエーテル、金属脂肪酸等の潤滑剤である。

【0042】反強磁性結合を誘導する接合層13にはRuを用いたが、Ir、Rh、Cr、Cu、Reからなる群から選ばれた少なくとも1種の金属元素、または、RuとMo、Re、W、Crからなる群から選ばれた少なくとも1種の金属元素とを含む合金、または、RhとPt、Pdから選ばれた少なくとも1種類以上の元素合金とを含む合金を用いても良い。弱い強磁性結合を誘導する接合層22にはCo-40at%Crを用いたが、RuとNb、Ti、Pd、Pt、Au、Cu、Pt、Pdからなる群から選ばれた少なくとも1種の金属元素とを含む合金、または、Coを主成分とし、Fe、Ni、Cr、Ta、Pt、Pd、Ruの中から選ばれた少なくとも1種の元素を含む合金、または加えてB(ボロン)またはO(酸素)を含む合金であり、飽和磁化が隣接する磁性層よりも小さな磁性体を用いても同等の結果が得られた。弱い強磁性結合を誘導する接合層22にはさらに、厚さが0.1nmから0.4nmまたは1.0nmから1.6nmのRu、または、Ir、Rh、Cu、Reからなる群から選ばれた少なくとも1種の金属元素、または、RuとMo、Re、W、Crからなる群から選ばれた少なくとも1種の金属元素とを含む合金、または、RhとPt、Pdから選ばれた少なくとも1種類以上の元素合金とを含む合金、または、厚さが0.2nmから1.0nmまたは2.5nmから3.2nmのCr、またはCrを主成分とする合金を用いても良い。記録磁性層11と非磁性中間層の間にPt組成の低い材料を用いると反強磁性結合が安定化し、図16に示すような飽和磁化の大きな材料を用いると反強磁性結合が強くなる。

【0043】ここで、非磁性下地層14、磁性層、接合層は、ともに基板15上に、低圧のArガスまたは数%の酸素を含むAr-Oガス雰囲気中でDCスパッタリング法を用いて形成した。本設備では、各層毎に独立にパラメータを変えられる様にしてある。この際、本設備では、Ar圧力は1-10mTorr、基板温度は100-300℃、製膜速度0.1-10nm/sとした。保護層は10nmである。記録磁性層のCo合金系磁性層のCr含量は19から23原子パーセント、Pt含量は4から20原子パーセント、V、Ta含量は2から5原子パー

セントとした。記録磁性層の膜厚、飽和磁化、異方性磁界はそれぞれ12~22nm、0.3~0.7T、500~1200kA/mで変化させた。安定化磁性層および下層磁性層群の膜厚、飽和磁化、異方性磁界はそれぞれ1~8nm、0.3~1.5T、100~1200kA/mで変化させた。反強磁性結合磁界は、磁性材料と非磁性中間層との界面状態に敏感なため、膜の作成条件にも大きく作用される。特にRF法では大きな反強磁性結合磁界が得られる。DC法では得られる反強磁性結合磁界はRF法の1/3程度であるが、MBE法よりも倍大きい。接合層の作成には、必要な結合磁界が得られる方式を用いるのが良い。反強磁性結合を誘導する接合層が3層有る図15の媒体構造の場合には、互いに他の接合層に含まれない元素をMo、Re、W、Crから選りRuとの合金として用いると、生産工程管理が容易になる。X線回折測定によると、前記磁性膜は六方晶のc軸が面内にランダムに分布した典型的な面内記録媒体と同等の配向性を有していた。

【0044】図17に、16nmのCoCrPtB記録磁性層を固定した場合の残留磁化の安定化磁性層厚依存性を示した。残留磁化は、トラック方向にいったん磁界を印可して飽和させた後、磁界を取り除いて磁化測定したものである。本発明の媒体は、図13に示す4層構造で、図3の従来型2層AF-C媒体の安定化磁性層の下に膜厚2nmのCoCrPt下層磁性層群をつけたものである。従来媒体の臨界膜厚は約4.5nmであるのに対して、本発明の媒体は、6.5nmまで厚くなっており、再配列が促進されていることを示している。

【0045】図18に、16nmのCoCrPtB記録磁性層を固定した場合の別の残留磁化の安定化磁性層厚依存性を示した。媒体は弱い強磁性結合を誘導する結合層を有するものであり、図14に示す3層構造(2分割)と図15に示す4層構造(3分割)および図3の従来型2層AF-C媒体構造の比較を行った。安定化磁性層および下層磁性層群は同じ組成のCoCrPtである。実効安定化磁性膜厚は、安定化磁性層および下層磁性層群の磁性層の厚さの合計値で定義した。従来媒体の臨界膜厚は約4.5nmであるのに対して、本発明の2分割媒体は6.0nmまで、本発明の3分割媒体は8.5nmまで厚くなっており、分割による再配列が促進されていることを示している。

【0046】図17、図18に示した3層以上のAF-C媒体は、図20に示すような3つ以上の微分ピークは測定されなかった。交換結合は弱い場合には、3つ以上のピークが測定されるようである。記録磁性層に対応する磁化変化をdM1、安定化磁性層および下層磁性層に対応する磁化変化をdM2とすると、比dM2/dM1は、従来媒体では最大0.3であるのに対して、本発明の2分割媒体は0.5、3分割媒体は0.7、また、図13の4層媒体では0.6程度まで大きくできることが分かった。

【0047】図21は、図14および図15に示した2分割媒体および3分割媒体において、CoCr16からなる弱

い強磁性層を誘導する接合層の厚さに対する臨界膜厚を示したものである。どちらの構造においても、CoCr16接合層が薄い場合には臨界膜厚が4.5nmとなり、安定化磁性膜と下層磁性層群が一体化しているのがわかる。CoCr20接合層の厚さが2nmを超えると各磁性層がばらばらになると考えられる。CoCr20単結晶の交換ステイフネス定数は、ブリュアン散乱測定より0.5pJ/mであった。従って、各磁性層がばらばらになって再配列促進効果がえられる表面交換結合エネルギーは、 $2A/t=2 \times (0.5/10^{-12}) / (2/10^{-9}) = 5/10000 \text{ J/m}^2$ 、という値が得られた。

【0048】前記媒体を、飽和磁束密度1.5Tの45Ni-55FeをFIB(Focused Ion Beam)加工技術によりトラック幅0.4μmの磁極材とし、記録ギャップ長0.15μm(ギャップ材:Al2O3)とした記録部と、NiFe/Co(4nm)、Cu(2.5nm)、固定層CoFe(3nm)、CrMnPt(20nm)を順次積層し、矩形状にパタン化した後に、その両端部に、Co80-Cr15-Pt5(10nm)/Cr(10nm)永久磁石およびTa電極膜(100nm)を配置し、KRFステッパリソグラフィ技術により電極で規定したトラック幅を0.3μmとした巨大磁気抵抗効果素子を2μmのNi80-Fe20シールド膜で挟んだ構造(シールド間隔:0.07μm、ギャップ材:Al2O3)の再生部とを有する磁気ヘッド素子を、Al2O3-TiC製の大きさの1.0×0.8×0.2mm³のスライダに形成した磁気ヘッドを用い、図10に示す本発明の磁気ディスク装置に実装して評価した。スライダは微小突起を3ヶ所設けた負圧型とし、浮上面にはC-H保護膜を設けたもので、また図10(a)は、装置の平面図、(b)は断面図である。再生信号の処理及び情報の入出力には、従来技術と同じ所定の電気回路が必要である。ここでは、EEPRML(Extended Extended Partial Response Maximum Likelihood)をエンハンスし、ECC機能を強化したMEEPRML(Modified PRML)と言う、高密度化時の波形干渉を積極的に活用した信号処理回路を導入した。

【0049】図1は、450kFCIにおける信号ノイズ比(Smf/N)の安定化磁性膜厚依存性を記録磁性層単独で得られる値からの利得分として示したものである。比較は、図17および図18に用いた媒体についておこなった。Smf/N利得分は安定化磁性膜厚の増加とともに大きくなるが、従来媒体では3.5nm、本発明の2分割媒体(図14)では5.0nm、本発明の4層媒体(図13)では6.5nmを超えると急激にSmf/N利得分が低下した。各媒体のHex95=0を与える膜厚を調べると、従来媒体では3.4nm、本発明の2分割媒体では5.1nm、本発明の4層媒体では6.3nmとなり、Smf/N利得分が急激に変化する膜厚に一致した。図1で用いた媒体の各構成において、最大のSmf/N利得分を与える安定化磁性膜厚においてさらに高記録密度で記録再生したところ、従来媒体では600kFCIまで、本発明の2分割媒体では800kFCIまで、本発明の4層媒体では850kFCIまで良好な特性が得られた。本発明によれば、記録媒体の全磁性層の合計値に対する

記録媒体に形成された最小磁化遷移幅の比が1.5より小さくすることが可能となる。

【0050】図19は、図14示す2分割媒体において、オーバーライトの安定化磁性膜厚依存性を記録磁性層単独で得られる値からの利得分として示したものである。安定化磁性層が厚くなるとオーバーライト利得分は大きくなる。ただし、安定化磁性層の異方性磁界Hk2と下層磁性層の異方性磁界Hk3が異なる場合には十分な利得分が得られていない。

【0051】孤立遷移の出力に対する450kFCIにおける再生出力の割合である分解能は、安定化磁性層の異方性磁界Hk2の記録磁性層の異方性磁界Hk1に対する比Hk2/Hk1に対して図9のような関係が得られた。比Hk2/Hk1が0.7を超えると分解能が記録磁性層単独の磁性層からなる媒体より悪くなる。比Hk2/Hk1が0.2以上0.6以下であると残留磁化の等しい単層媒体と同等の分解能が得られる。

【0052】なお、記録磁極を従来の1T(80Ni-20Fe組成)、1.3T(FeTaC)、1.7T(FeNiN)としたヘッドでも評価したが、1T、1.3Tでは重ね書き特性が20dBと低く、十分な急峻な記録が行えず、ノイズも極めて大きく実用に堪えず、1.5T、1.7Tの場合にだけ良好な記録を確認できた。以上から1.5T以上は必要である事がわかった。更に特開平02-148643、02-218904号各公報に記載された技術により試作した、再生トラック幅0.4μmのトンネル型磁気ヘッドで特性を評価した場合には全く同様の結果が得られたが、同じトラック幅の従来型MRヘッドでは、十分な再生感度が得られず、評価に堪えなかった。

【0053】以上述べた実施例は、本発明で開示する類似の発明を代表するものであり、本発明から同業者が容易に類推できる例においても本発明の範囲に入るものである。例えば、RFマグネトロンスパッタ法、ECRスパッタ法、ヘリコンスパッタ法等でも同様の効果が得られる。また、本発明で開示する磁気記録媒体によれば15Gb/in²以上の記録密度での記録再生が初めて可能となる。したがって、本発明の磁気記録媒体で可能となる磁気テープ、磁気カード、光磁気ディスク等を用いた磁気記録再生装置についても本発明の範囲にはいる。以上、本発明の磁気記録媒体、磁気記録再生装置を用いることにより高速かつ大容量の記録再生が初めて可能となる。これにより、商品競争力の極めて強い磁気記録再生装置を実現できる。

(実施例2) 実施例2の磁気記録媒体の特徴は、非磁性基板上に形成された少なくとも3層以上の磁性層を有する面内磁気記録媒体において、該非磁性基板から最も遠い磁性層を記録磁性層、記録磁性層の次に該非磁性基板から遠い磁性層を安定化磁性層、該記録磁性層と該安定化磁性層とを除く他の全ての磁性層を下層磁性層群とするとき、該磁性層は非磁性物質または弱磁性物質からな

る接合層によって隔てられており、トラック方向に磁界を印加して磁気飽和させた後、磁界を減少させ、さらに逆方向に磁界を印加して磁気飽和に至らせる磁化過程において、磁化の磁界による微分値が少なくとも2つ以上のピークを持ち、それぞれのピークに対応した前記過程における磁化変化量を、値が大きい方から降順にdM1、dM2のように呼ぶとき、dM1とdM2の和は飽和磁化量の2倍の90%以上であり、かつ、dM1に対するdM2の比が0.45以上であり、更に前記記録磁性層と前記安定化磁性層の間には、接する磁性層の磁化を逆向きにする性質を有する非磁性物質または弱磁性物質からなる接合層が設けられた点にある。

【0054】また、前記接する磁性層の磁化を逆向きにする性質を有する非磁性物質または弱磁性物質からなる接合層は、Ru、または、Ir、Rh、Cr、Cu、Reからなる群から選ばれた少なくとも1種の金属元素、または、RuとMo、Re、W、Crからなる群から選ばれた少なくとも1種の金属元素とを含む合金、または、RhとPt、Pdから選ばれた少なくとも1種類以上の元素合金とを含む合金であることが好ましい。

【0055】また、135ケルビンにおいて磁界を毎秒3000A/mの大ききで磁界を変化させて得られる前記磁化過程より得られる前記磁化変化量dM1、dM2に対応する前記微分ピークをそれぞれピーク1、ピーク2とし、該ピーク2の磁界は最初に磁気飽和させた方向の磁界であり、該ピーク1の磁界は次に磁気飽和させた方向の磁界であることが好ましい。

【0056】また、前述の磁化変化量dM1、dM2に対応する前記微分ピークをそれぞれピーク1、ピーク2とし、216ケルビンと77ケルビンにおいて測定された該ピーク1、ピーク2を与える磁界をそれぞれ絶対温度零度以外挿した磁界の値を、それぞれHxo1、Hxo2とすると、Hxo1に対するHxo2の比は0.7以下であることが好ましい。

【0057】更にまた、前述の磁界の比Hxo2/Hxo1が0.2以上0.6以下であることが好ましい。

【0058】また、磁化変化量dM1、dM2に対応する前記微分ピークをそれぞれピーク1、ピーク2とし、前記磁化過程において磁界を毎秒3000A/mおよび毎秒3000A/mの大ききで磁界を変化させて得られる該ピークの磁界を、1ナノ秒間にピーク1を与える大ききの磁界だけ変化する磁界変化量に対数軸上で外挿して求めた磁界の値を、それぞれHxr1、Hxr2とすると、Hxr1に対するHxr2の比は0.7以下であることが好ましい。

【0059】更にまた、磁界の比Hxr2/Hxr1が0.2以上0.6以下であることが好ましい。

【0060】また、216ケルビンにおいて磁界を毎秒3000A/mの大ききで磁界を変化させて得られる前記磁化過程より得られる前記磁化変化量dM1、dM2に対応する前記微分ピークをそれぞれピーク1、ピーク2とし、該ピーク1と該ピーク2の磁界の符号を考慮した平均磁界

において該磁化曲線に引かれた接線がゼロ磁界を横切るとき、磁化量を M_{rte} 、当該磁化曲線のゼロ磁界における磁化量を M_{rta} とすると、両磁化量の差 $(M_{rte}-M_{rta})$ のピーク2の磁化変化量 dM_2 の比 $((M_{rte}-M_{rta})/dM_2)$ が、0.05以下であることが好ましい。

【0061】また、216ケルビンにおいて磁界を毎秒3000A/mの大きさに磁界を変化させて得られる前記磁化過程より得られる前記磁化変化量 dM_1 、 dM_2 に対応する前記微分ピークをそれぞれピーク1、ピーク2とし、該ピーク2の磁界は最初に磁気飽和させた方向の磁界であり、該ピーク2を与える磁界における磁化量を M_{t2} としたとき、磁化曲線上において、磁化量 $(M_{t2}+0.45 \times dM_2)$ を与える磁界と磁化量 $(M_{t2}-0.45 \times dM_2)$ を与える磁界の差 ΔH が該ピーク2の磁界の大きさに比べて1.5倍以下であることが望ましい。

【0062】なお、前記安定化磁性層および上記下層磁性層群は、Co、Fe、NiまたはCoを主成分とし、Fe、Ni、Cr、Ta、Pt、Pd、Ruの中から選ばれた少なくとも1種の元素を含む合金、または加えてB(ボロン)またはO(酸素)を含む合金であることが好ましい。

(実施例3) 実施例3に記載の発明の特徴は、非磁性基板上に形成された少なくとも3層以上の磁性層を有する磁気記録媒体において、該非磁性基板から最も遠い磁性層を記録磁性層、記録磁性層の次に該非磁性基板から遠い磁性層を安定化磁性層、該記録磁性層と該安定化磁性層とを除く他の全ての磁性層を下層磁性層群とすると、各磁性層は、非磁性層または非磁性物質からなる接合層によって隔てられており、該記録磁性層の磁化と該安定化磁性層の磁化とが互いに反平行であり、かつ、隣接する磁性層の磁化の向きが反平行な接合層の数は奇数であり、基板からi番目の磁性層について異方性エネルギーを K_{ui} (J/m³)、上面から見た平均粒子直径を D 、膜厚を t_i とし、ボルツマン定数を k とすると、 K_{ui} と D の平方と t_i の積を k で除した値 $(K_{ui} \times D \times D \times t_i / k)$ を当該磁性層の耐熱係数とすると、該下層磁性層群を構成するそれぞれの磁性層の厚さ t_i は、当該磁性層の耐熱係数が4000以下となるよう設定されることを特徴とする磁気記録媒体という点にある。ここで、磁性層の膜厚は、当該磁性層の耐熱係数が非磁性基板から遠ざかるに従って大きくなるように設定されていることが好ましい。

(実施例4) 実施例4に記載の発明の特徴は、非磁性基板上に形成された少なくとも3層以上の磁性層を有する磁気記録媒体において、該非磁性基板から最も遠い磁性層を記録磁性層、記録磁性層の次に該非磁性基板から遠い磁性層を安定化磁性層、該記録磁性層と該安定化磁性層とを除く他の全ての磁性層を下層磁性層群とすると、各磁性層は、非磁性層または非磁性物質からなる接合層によって隔てられており、該記録磁性層の磁化と該安定化磁性層の磁化とが互いに反平行であり、かつ、隣接する磁性層の磁化の向きが反平行な接合層の数は奇数

であり、かつ、該下層磁性層群を構成するそれぞれの磁性層の厚さは記録磁性層の厚さの0.3倍以下であることを特徴とする磁気記録媒体と言う点にある。

【0063】また、磁性層の膜厚は、非磁性基板から遠ざかるに従って厚くすることが好ましい。また、上述の磁性層の組成は、Crの原子組成を N_c 、Ptの原子組成を N_p 、Bの原子組成を N_b とすると、 N_p の80%から N_c を引き、さらに N_b の55%を引いた値 $(0.7 \times N_p - N_c - 0.55 \times N_b)$ が非磁性基板から遠ざかるに従って小さくなることを特徴とすることが好ましい。

【0064】更にまた、前述の隣接する磁性層の磁化の向きが反平行な接合層は、互いに他の接合層に含まれない元素を含んでいることが好ましい。

【0065】また、安定化磁性層と下層磁性層群とを構成する磁性層を隔てる非磁性層または非磁性物質からなる接合層においては、隣接する磁性層の磁化の向きが略平行な接合層を少なくとも1対含んでいることが望ましい。ここで、隣接する磁性層の磁化の向きが略平行な接合層の交換表面結合エネルギーは、 $5/10000$ J/m²より小さいことが好ましい。

【0066】また、前述の隣接する磁性層の磁化の向きが略平行な接合層は、RuとNb、Ti、Pd、Pt、Au、Cu、Pt、Pdからなる群から選ばれた少なくとも1種の金属元素とを含む合金、または、Coを主成分とし、Fe、Ni、Cr、Ta、Pt、Pd、Ruの中から選ばれた少なくとも1種の元素を含む合金、または加えてB(ボロン)またはO(酸素)を含む合金であり、飽和磁化が隣接する磁性層よりも小さな磁性体、または、厚さが0.1nmから0.4nmまたは1.0nmから1.6nmのRu、または、Ir、Rh、Cu、Reからなる群から選ばれた少なくとも1種の金属元素、または、RuとMo、Re、W、Crからなる群から選ばれた少なくとも1種の金属元素とを含む合金、または、RhとPt、Pdから選ばれた少なくとも1種類以上の元素合金とを含む合金、または、厚さが0.2nmから1.0nmまたは2.5nmから3.2nmのCr、またはCrを主成分とする合金であることが好ましい。

【0067】また、安定化磁性層と下層磁性層群とを構成する磁性層の膜厚は、基板からi番目の磁性層について異方性エネルギーを K_{ui} (J/m³)、上面から見た平均粒子直径を D 、膜厚を t_i 、ボルツマン定数を k とすると、 K_{ui} と D の平方と t_i の積を k で除した値 $(K_{ui} \times D \times D \times t_i / k)$ で定義される磁性層の耐熱係数を用いて、それぞれの磁性層の膜厚は、前記磁性層の耐熱係数が4000以下となるように各磁性層の膜厚がに設定されることが望ましい。

【0068】安定化磁性層および下層磁性層群を構成する磁性層の厚さは5ナノメートルより小さいことが望ましい。また、安定化磁性層および下層磁性層群を構成する磁性層の磁気異方性磁界が概ね等しいことが好ましい。

【0069】更に、上記接合層に接する磁性層のうち少

なくとも1つには、該接合層に接する1nm以内の領域で該磁性層内の他の領域より飽和磁化が大きい領域が存在することが好ましい。

【0070】記録磁性層の磁気異方性磁界 H_{kA} に対する、安定化磁性層および下層磁性層群を構成する磁性層の平均的な磁気異方性磁界 H_{kB} の比 H_{kB}/H_{kA} が0.7以下であることを特徴とすることが好ましい。この場合、 H_{kB}/H_{kA} は0.2以上0.6以下であることが更に好ましい。

【0071】また安定化磁性層の厚さは下層磁性層群のうち最も基板に近い磁性層の厚さに比べて大きいことが好ましい。また前記安定化磁性層の厚さを、該安定化磁性層に接する下層磁性層群の厚さに比べて薄くすることも好ましい。

【0072】安定化磁性層の層膜厚は、2ナノメートル以下であることが好ましい。また、記録磁性層内の交換スティフネス定数は3ピコJ/mより大きいことが好ましい。

【0073】また、磁性層の飽和磁化が0.85テスラを超えることが好ましい。また、磁性層の材料組成としては、Co濃度が83at%を超えることが好ましい。

【0074】磁性層を形成する磁性層の記録磁性膜の上面側から見た平均粒子直径 D と記録磁性層の厚さ t_1 との比(D/t_1)が0.5より小さいことが好ましい。

【0075】安定化磁性層および下層磁性層群の材料としては、Co主成分とし、Cr、Ta、Pt、の中から選ばれた少なくとも1種の元素を含む合金、または加えてO(酸素)を含む合金であることが好ましい。かつ、前述した非磁性中間層の材料としてRuであることが好ましい。

【0076】記録磁性層の材料としてはCoを主成分とするCr、Ta、Pt、の中から選ばれた少なくとも1種の元素を含む合金、または加えてB(ボロン)を含む合金であることが好ましい。また、下層磁性層群は非磁性の下地膜上に形成されていることが好ましく、非磁性下地層の材料としてはCr、Mo、W、Ta、V、Nb、Ta、Ti、Ge、Si、Co、Niからなる群から選ばれた少なくとも1種の元素を含む非磁性材料であることが好ましい。

【0077】隣接する磁性層の磁化の向きが略平行な接合層は、RuとNb、Ti、Pd、Pt、Au、Cu、Pt、Pdからなる群から選ばれた少なくとも1種の金属元素とを含む合金、または、Coを主成分とし、Fe、Ni、Cr、Ta、Pt、Pd、Ruの中から選ばれた少なくとも1種の元素を含む合金、または加えてO(酸素)を含む合金であり、飽和磁化が隣接する磁性層よりも小さな磁性体、または、厚さが0.1nmから0.4nmまたは1.0nmから1.6nmのRu、または、Ir、Rh、Cu、Reからなる群から選ばれた少なくとも1種の金属元素、または、RuとMo、Re、W、Crからなる群から選ばれた少なくとも1種の金属元素とを含む合金からなることが好ましい。

(実施例5) 実施例5に記載の発明の特徴は、実施例4で述べた接合層をRFスパッタ法で作成することと特徴と

する磁気記録媒体の製造方法という点にある。

(実施例6) 実施例6に記載の発明の特徴は、実効トラック幅が0.5 μ m以下である再生素子を有する磁気ヘッドと実施例1〜5に記載された磁気記録媒体とを組み合わせることで磁気情報の再生を行うことを特徴とする磁気記憶装置と言う点にある。記録ヘッドとしては、特に、記録磁極の飽和磁束密度が1.8T以上であることが好ましい。また、記録媒体の全磁性層の合計値に対する記録媒体に形成された最小磁化遷移幅の比が1.5より小さいことが好ましい。

【0078】

【発明の効果】耐熱揺らぎ性と高S/N比とを両立させることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の効果を示す主要図。

【図2】本発明の磁気記録媒体の主要部概念図。

【図3】AFC媒体の概念図。

【図4】交換結合の概念図。

【図5】本発明の磁気記録媒体の磁化曲線を示す図。

【図6】本発明の磁気記録媒体の別の磁化曲線を示す図。

【図7】本発明の磁気記録媒体の磁気特性を定義する図。

【図8】本発明の磁気記録媒体における各磁性層の保磁力の温度変化を示す図。

【図9】本発明の別の効果を示す主要図。

【図10】従来磁気ディスク装置の概念図。

【図11】従来磁気ヘッドの概念図。

【図12】AFC媒体における再配列の概念図。

【図13】本発明の磁気記録媒体の構成を示す図。

【図14】本発明の磁気記録媒体の別の構成を示す図。

【図15】本発明の磁気記録媒体の別の構成を示す図。

【図16】本発明の磁気記録媒体の別の構成を示す図。

【図17】本発明の別の効果を示す図。

【図18】本発明の別の効果を示す他の図。

【図19】本発明の別の効果を示す図。

【図20】本発明の磁気記録媒体の別の磁気特性を定義する図。

【図21】本発明の別の効果を示す図。

【符号の説明】

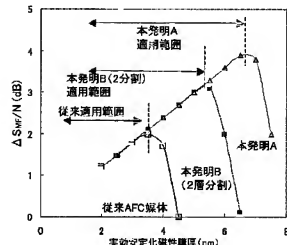
11・・・記録磁性層、12・・・安定化磁性層、13・・・反強磁性誘導接合層、14・・・非磁性下地層、15・・・非磁性基板、16・・・保護膜、17・・・潤滑層、21・・・下層磁性層群、22・・・弱強磁性誘導接合層、23・・・飽和磁化増加領域、41・・・最大反強磁性結合エネルギーJ1、42・・・ピーク膜厚 t_{peak} 、43・・・反強磁性結合反値幅 Δt 、51・・・安定化磁性層の磁化反転に伴う磁化変化量、52・・・記録磁性層の磁化反転に伴う磁化変化量、71・・・記録磁性層の保磁力、72・・・安定化磁性層のマイナーループの幅、73・・・反強磁性結合磁界、

81・・・記録磁性層の保磁力の温度変化、83・・・安定化磁性層の保磁力の温度変化、101・・・記録媒体、102・・・磁気ヘッド、103・・・ロータリアクチュエータ、104・・・回転軸受け、105・・・アーム、106・・・サスペンション、108・・・筐体、111・・・書き込み

部、112・・・再生部、113・・・磁気抵抗素子、1110・・・非磁性基板、115・・・シールド層、116・・・渦巻き型コイル、117・・・磁極、118・・・磁極(シールド層兼用)、119・・・電極。

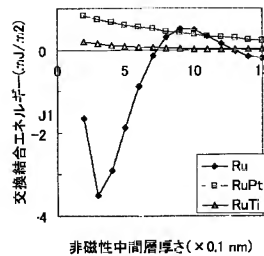
【図1】

図 1



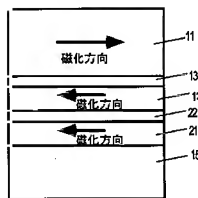
【図4】

図 4



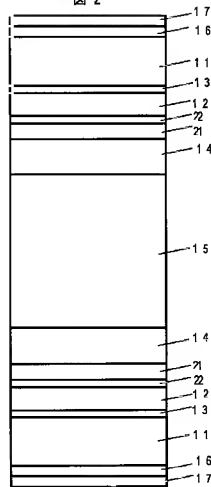
【図14】

図 14



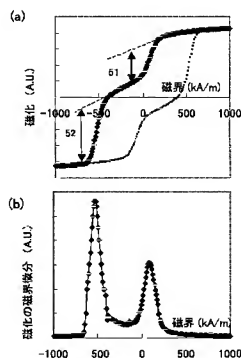
【図2】

図 2



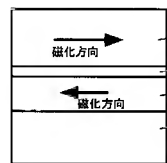
【図5】

図 5



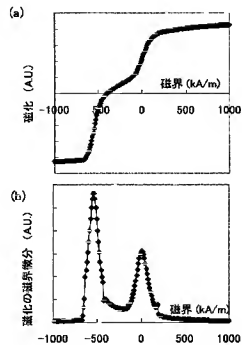
【図3】

図 3



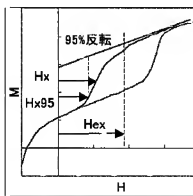
【図6】

図 6

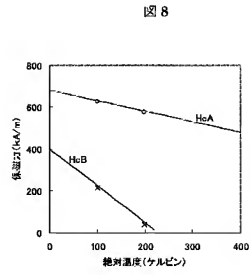


【図7】

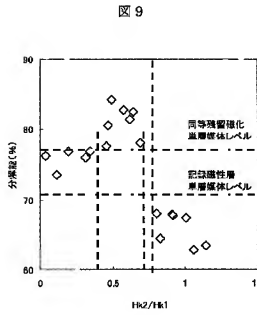
図 7



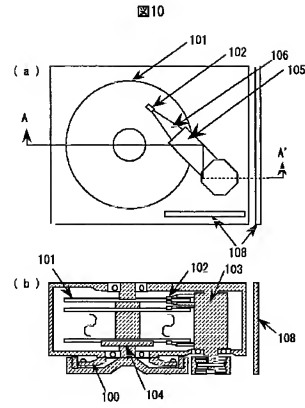
【図8】



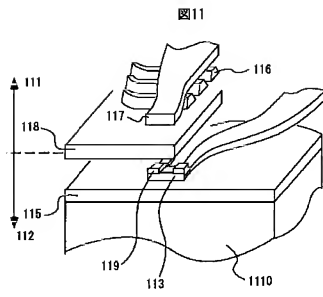
【図9】



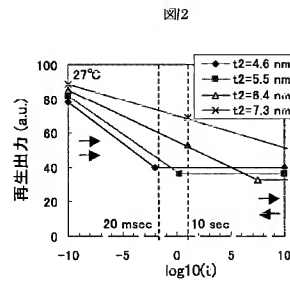
【図10】



【図11】



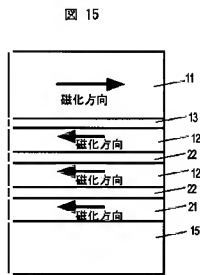
【図12】



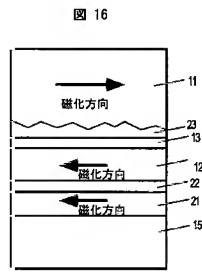
【図13】



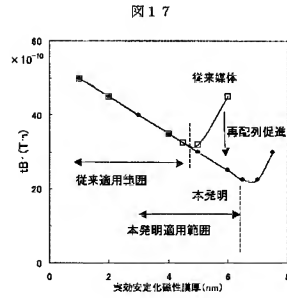
【図15】



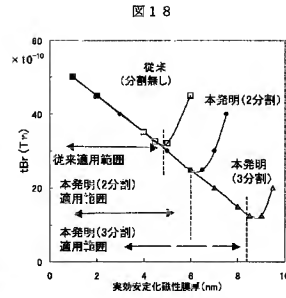
【図16】



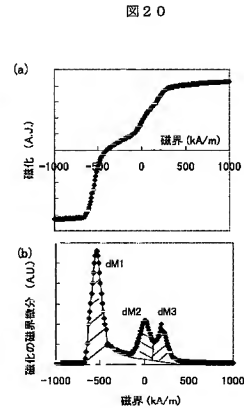
【図17】



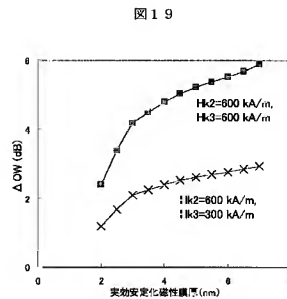
【図18】



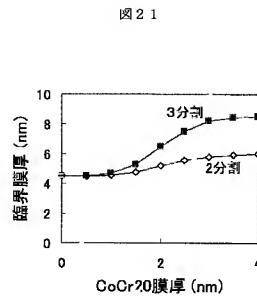
【図20】



【図19】



【図21】



【手続補正書】

【提出日】平成14年2月8日(2002.2.8)

【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】特許請求の範囲

【補正方法】変更

【補正内容】

【特許請求の範囲】

【請求項1】ディスク形状の基板上に直接または下地層を介して形成された少なくとも3層以上の磁性層と、該3層以上の磁性層の間に設けられた非磁性物質または弱磁性物質からなる接合層とを有する磁気記録媒体において、基板の円周方向に磁界を印加して得られる磁化曲線において磁化の磁界による微分値が少なくとも2つ以上のピークを有し、該2つ以上のピークに対応する磁化変化量を変化量の最も大きい方からdM1、dM2とすると、dM1とdM2の和は飽和磁化量の2倍の90%以上であり、dM1に対するdM2の比dM2/dM1が0.45以上であることを特

徴とする磁気記録媒体。

【請求項2】請求項1に記載の磁気記録媒体において、磁界を毎秒3000A/mの大きさで磁界を変化させて得られる磁化曲線における前記磁化変化量dM1、dM2に対応する前記微分ピークをそれぞれピーク1、ピーク2とし、該ピーク2の磁界は最初に磁気飽和させた方向の磁界であり、該ピーク2を与える磁界における磁化量をMt2とすると、当該磁化曲線上において、磁化量(Mt2+0.45×dM2)を与える磁界と磁化量(Mt2-0.45×dM2)を与える磁界の差ΔHが該ピーク2の磁界の大きさに比べて1.5倍以下であることを特徴とする磁気記録媒体。

【請求項3】基板上に直接または下地層を介して形成された少なくとも3層以上の磁性層と、該3層以上の磁性層の間に設けられた非磁性物質または弱磁性物質からなる接合層とを有し、該非磁性基板から最も遠い磁性層を記録磁性層、記録磁性層の次に該非磁性基板から遠い磁性層を安定化磁性層、該記録磁性層と該安定化磁性層と

を除く他の全ての磁性層を下層磁性層群とすると、該記録磁性層の磁化と該安定化磁性層の磁化とは互いに反平行であり、かつ基板側から*i*番目の磁性層の異方性エネルギー*K_{ui}* (J/m³)、*i*番目の磁性層を上面から見た平均粒子直径*D*、磁性層の膜厚*t_i*、ボルツマン定数*k*により、*K_{ui}*と*D*の平方と*t_i*の積を*k*で除した値として定義される磁性層の耐熱係数 (*K_{ui}* × *D* × *D* × *t_i* / *k*) が4000以下であることを特徴とする磁気記録媒体。

【請求項4】基板上に直接または下地層を介して形成された少なくとも3層以上の磁性層と、該3層以上の磁性層の間に設けられた非磁性物質または弱磁性物質からなる接合層とを有し、該非磁性基板から最も遠い磁性層を記録磁性層、記録磁性層の次に該非磁性基板から遠い磁性層を安定化磁性層、該記録磁性層と該安定化磁性層とを除く他の全ての磁性層を下層磁性層群とすると、該記録磁性層の磁化と該安定化磁性層の磁化とは互いに反平行であり、かつ、該下層磁性層群を構成する磁性層の厚さは記録磁性層の厚さの0.3倍以下であることを特徴とする磁気記録媒体。

【手続補正2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0016

【補正方法】変更

【補正内容】

【0016】3層以上の磁性層を有する場合には、磁化の磁界による微分値が少なくとも3つ以上のピークを持つ可能性が有る。それぞれのピークに対応した前記過程における磁化変化量を、値が大きい方から降順に*dM1*、*dM2*、*dM3*のように呼ぶものとする、*dM1*は記録磁性層の磁化に対応しており、これを与える磁界は、該磁化過程において最初に磁化された方向の反対方向を向いている。各ピークに対応する磁化の変化量は、図20 (b) に示すような下駄部分 (ベースライン) と微分曲線とで囲まれた斜線部分の面積で与えられる。各ピークに対応する磁化の変化量の総和は、測定媒体を十分飽和した時の磁化量の2倍に対して、概ね60%から75%の間となる。*dM2*以下の磁化変化は、安定化磁性層と下層磁性層群の磁化変化である。再配列の完了は、該磁化過程において、記録磁性層以外の磁化磁化変化に対応するピークが全て最初に磁化された方向を向いている (ピークがある) ことで確認できる。

【手続補正3】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0026

【補正方法】変更

【補正内容】

【0026】また、RuとMo、Re、W、Crからなる群から選ばれた少なくとも1種の金属元素とを含む合金、または、RhとPt、Pdから選ばれた少なくとも1種類以上の元

素合金とを含む合金である場合にはRuやRhに他の金属元素が良く固溶するので結合エネルギーを制御して低下させるのに有用である。AFC媒体の反強磁性結合磁界は、本発明の実効安定化磁性層厚に反比例して減少する。記録磁性層または安定化磁性層の接合層に接する領域で同一磁性層内の他の領域より飽和磁化が大きい領域を設けることにより、記録磁性層と安定化磁性層の反強磁性結合を強化するようなエンハンス構造 (特開2001-56921号公報) 等の併用により、本発明のメリットを十分に引き出すことができる。安定化磁性層をCoまたはCoを90%以上含む合金としても良い。また、接合層をRF法で作成すると大きな反強磁性結合磁界が得られる。DC

法では得られる反強磁性結合磁界はRF法の1/3程度であるが、MBE法よりも倍大きい。接合層の作成には、必要な結合磁界が得られる方式を用いるのが良い。また、接する磁性層の磁化を逆向きにする性質を有する接合層が複数有る場合には、互いに他の接合層に含まれない元素を含ませることにより、生産工程管理が容易になる。

【手続補正4】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0029

【補正方法】変更

【補正内容】

【0029】各磁性層の磁気異方性エネルギー*K_u*の推定は、各磁性層の組成を持つ単層 (10nm) を作成し、残留保磁力のパルス時間依存性をVSM測定や逆DC消磁法より求め、Sharrockの式にフィッティングして求めた*K_β*値や*H_k*の値から関係式*K_β*=*K_u***v*/(*kT*)や*H_k*=2**K_u*/*M_s*を使って算出すればよい。また、磁性層がCoCrPtB磁性薄膜である場合には、Crの原子組成を*N_c*、Ptの原子組成を*N_p*、Bの原子組成を*N_b*とし、式*K_u*= (4.4-0.18×*N_c*+0.15×*N_p*-0.1×*N_b*) ×100000J/m³から簡易的に算出しても良い。

【手続補正5】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0039

【補正方法】変更

【補正内容】

【0039】本発明を用いることにより、磁気異方性の最適値を規定した前述の安定化磁性層の磁気異方性磁界を記録磁性層の磁気異方性磁界に比べて小さくする媒体のメリットを実効安定化磁性層厚 (安定化磁性層および下層磁性層群の飽和磁化と膜厚の積の和を安定化磁性層の飽和磁化で除したもの) が厚い領域まで十分に引き出すことができる。これは、磁気異方性エネルギーを小さくすることで再配列を促進しようとする場合、十分な記録層の耐熱減磁特性が得られないためである。

フロントページの続き

(72)発明者 平山 義幸
東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地
株式会社日立製作所中央研究所内
(72)発明者 山本 朋生
東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地
株式会社日立製作所中央研究所内

(72)発明者 富山 大士
東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地
株式会社日立製作所中央研究所内
(72)発明者 細江 譲
東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地
株式会社日立製作所中央研究所内
Fターム(参考) 5D006 BB02 BB05 BB07 BB08

Translation of relevant parts

[0025]

In order to provide a nature that magnetization of a magnetic layer for recording and a magnetic layer for stabilization, between which a contact layer is provided, is made reverse, it is preferable to use Ru or at least one metal element selected from a group consisting of Ir, Rh, Cr, Cu and Re, as described in the known examples. Since Rh and Cu are metals having high ductility and malleability and the thickness thereof, with which the antiferromagnetic coupling field becomes maximum, is about 0.8 nm which is about twice of that of Ru, Ir or Re, it is possible to obtain a high quality of medium whose variation in a disc surface of the antiferromagnetic coupling field due to thickness variation and pin-holes, etc., is small and whose magnetic characteristics is uniform. Further, since a range of film thickness, with which the antiferromagnetic coupling field can be obtained, of Ru, Ir or Re is wide compared with an average thickness, these materials are superior in a process control. In a case where Cu or Cr is used as a non-magnetic intermediate layer, the crystallization and the orientation of the magnetic layer for recording is improved since the lattice consistency thereof with respect to the Co alloy magnetic layer is good. In a case where Cr is used, a large antiferromagnetic coupling field can be obtained when Fe is contained in the magnetic film contacting thereto or in the surface of the magnetic film.

[0043]

The non-magnetic under layer 14, the magnetic layer and the contact layer were formed on the substrate 15 by the DC sputtering in an atmosphere of low pressure Ar gas or Ar - O gas containing several % of oxygen. In this installation, parameters of the respective layers can be changed independently. In this installation, Ar pressure of 1 to 1-10 mTorr, the substrate temperature of 100 to 300°C and film forming rate of 0.1 to 10 nm/s are used. The protective layer was 10 nm thick. The Co alloy magnetic layer as the magnetic layer for recording contained Cr in a range of 19 to 23 atomic percent, Pt in a range of 4 to 20 atomic percent and V and Ta in a range of 2 to 5 atomic percent, respectively. Further, thickness, saturation magnetization and anisotropic magnetic field of the magnetic layer for recording were changed in a range of 12 to 22 nm, 0.3 to 0.7 T and 500 to 1200 KA/m, respectively. Thicknesses, saturation

magnetizations and anisotropic magnetic fields of the magnetic layer for stabilization and the under layer magnetic layers were changed in a range of 1 to 8 nm, 0.3 to 1.5 T and 100 to 120 KA/m, respectively. Since the antiferromagnetic coupling field is sensitive to the state of an interface between magnetic materials and the non-magnetic intermediate layer, it is largely influenced by the film forming condition. In particular, a large antiferromagnetic coupling field is obtained by the RF sputtering. The antiferromagnetic coupling field obtainable by the DC sputtering is about 1/3 of that obtainable by the RF sputtering and is twice that obtainable by the MBE method. In forming the contact layer, it is preferable to use a method with which a necessary coupling magnetic field can be obtained. In a case where the contact layer for inducing the antiferromagnetic coupling includes three layers such as shown in Fig. 15, the production process control becomes facilitated by selecting elements, which are not contained in other contact layers, from a group consisting of Mo, Re, W and Cr and using them as alloys of Ru. According to an X ray diffraction measurement, the magnetic film has the orientation similar to that of the typical in-surface recording medium in which c-axis hexagonal system is distributed in a surface randomly.